

移動無線通信方式における高効率マクロダイバーシチ法の研究

著者	森本 彰人
号	52
学位授与番号	3942
URL	http://hdl.handle.net/10097/37658

氏 名	森 本 彰 人
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気・通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	移動無線通信方式における高効率マクロダイバーシチ法の研究
指 導 教 員	東北大学教授 安達 文幸
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 安達 文幸 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 坪内 和夫

論 文 内 容 要 旨

マクロダイバーシチは、移動通信システムにおいて移動中のユーザが通信を継続するために必須の無線技術である。本論文は、直接拡散符号分割マルチアクセス (DS-CDMA) を用いる第 3 世代移動通信システムおよび直交周波数分割多重 (OFDM) を用いる次世代移動通信システムにおける高効率マクロダイバーシチの実現を目的として筆者がこれまでに行った一連の研究成果をまとめたものであり、全編 5 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、研究の背景と本論文の概要について述べている。

第 2 章では、DS-CDMA 無線アクセスを用いる第 3 世代移動通信システムを対象としたマクロダイバーシチ法について述べている。

まず、上りリンクにおける異なる基地局(BS)間のマクロダイバーシチについて、誤り検出結果 (CRC 結果) と受信信号電力対干渉電力比(SIR)情報を用いる 2 段階選択合成マクロダイバーシチを提案している。提案法では、各無線フレームの CRC 結果、およびインタリーブ区間毎の平均受信 SIR の 2 種類の信頼度情報を用いて 2 段階で選択合成を行うことにより、従来の 1 段階選択合成に比較して、全ての BS において CRC 結果で誤りが検出された場合に、よりビット誤りの少ない無線フレームを選択することができ、ビット誤り率(BER)特性を改善することができる。計算機シミュレーション結果より、従来の 1 段階選択合成に比較して、平均ビット誤り率(BER) = 10^{-3} を満たすセル端ユーザの所要送信電力を約 0.3 dB 改善できること、および屋外実験結果より、1BS 受信に比較して、平均 BER = 10^{-3} を満たすセル端ユーザの所要送信電力を約 2 dB 改善できることを実証している。

次に、上りリンクにおける同一 BS 内のセクタ間マクロダイバーシチについて、異なるセクタで受信される信号電力を全て合成する Rake 合成と一体化したマクロダイバーシチ法を提案している。提案法

は、従来のセクタ内に閉じた Rake 合成に比較して、複数セクタの中から受信 SIR の高いパスを選択して合成することができるため、セクタ境界のユーザの受信品質を改善することができる。セクタ間のシャドウイング、瞬時フェージングの相関、および実際のアンテナ配置を考慮した屋外実験結果より、各セクタでの受信パス数が 1~2 パスのように小さい場合には、セクタ間のシャドウイング相関が大きい場合においても、所要 MS 平均送信電力をセクタ内に閉じた Rake 合成に比較して約 2~2.5 dB 低減できることを実証している。これらのマクロダイバーシチ技術は第 3 世代移動通信システムの上りリンクに適用されている。

さらに、下りリンクにおける異なる BS 間のマクロダイバーシチについて、制御ビットの復号誤りの影響の低減とマクロダイバーシチ効果の向上を目的として、各 BS が独立に送信電力を制御する各基地局独立送信電力制御法を提案している。提案法は、各 BS が各 BS と MS 間のパスロスに応じて重み付けて、すなわち、パスロスの小さい BS からは大きい送信電力で、パスロスの大きい BS からは小さい送信電力で送信することにより、BS の総送信電力を低減することができる。また、提案法は送信電力制御(TPC)ビットのみを用いて送信電力の制御を行うため、上りリンクで送信される制御ビット (TPC ビット) の受信誤りが特性に与える影響を小さくできるという優れた特徴を持つ。計算機シミュレーション結果より、従来の全基地局共通送信電力制御法、SSDT (Site Selection Diversity Transmission power control)法に比較して、低速から高速にわたる移動環境において所要送信電力を低減できることを明らかにしている。

第 3 章では、DS-CDMA 無線アクセスを用いる高速パケット伝送を対象とした下りリンクマクロダイバーシチ法について述べている。具体的には、高速パケット伝送に必須の技術である高速パケットスケジューリングおよび再送制御を適用した場合において、所属無線セルまたはセクタを無線フレーム周期で更新するユーザ主導型の受信 SIR に基づく高速セル選択法を提案している。計算機シミュレーション結果より、提案法は、更新周期を HSDPA の無線フレーム単位である 2 msec 程度に短縮することで、簡略な制御でありながら、セル端ユーザのスループットを、高速セル選択を用いない場合、すなわちハードハンドオーバーを行った場合に比較して、約 40~60%改善できることを明らかにしている。これは、高速パケット伝送実現のための設計指針を与える実用上重要な成果である。

第 4 章では、OFDM 無線アクセスを用いる次世代移動通信システムを対象とした下りリンクマクロダイバーシチ法について述べている。

まず、Evolved UTRA を対象として、同一 BS 内のセクタ間マクロダイバーシチについて、セクタ境

界のユーザに対して、セクタ総送信電力一定という条件の下で、受信品質の高いセクタに 2 倍の送信電力を割り当て、他方のセクタの送信をストップさせる高速セクタ送信電力割り当て法を提案している。システムレベルの計算機シミュレーション結果より、提案の高速セクタ送信電力割り当て法により、セクタ境界以外のユーザのスループットをソフト合成受信を用いる複数セクタ等電力割当法とほぼ同等に保ちつつ、セクタ境界のユーザのスループットを約 10%向上できることを明らかにしている。

次に、第 4 世代移動通信システムを対象として、100 MHz の超広帯域を利用した場合の異なる BS 間におけるセル間マクロダイバーシチ法について述べている。具体的には、周波数選択性の非常に強いブロードバンドチャンネルでは、分解できるマルチパス数の増大により瞬時受信信号電力の変動が非常に小さくなるため、瞬時フェージングに追従する高速セル選択は不要であることを示し、シャドウイング変動のみに追従するセル選択法を提案している。瞬時フェージング、シャドウイングの時間変動を考慮したリンクレベルシミュレーション結果より、高速ドップラ周波数が 200 Hz までの低速から高速移動までを考慮した場合、シャドウイングの時間変動に追従できる最適なセル選択周期は約 100 msec であり、セル選択周期を 100 msec とした場合の提案法は高速セル選択とほぼ同等のスループットを実現しつつ、制御を簡略化できることを明らかにしている。これらは、次世代移動通信システムの設計指針を与える実用上重要な成果である。

第 5 章では、第 2 章から第 4 章を総括して結論を述べている。

以上述べたように、本論文では、第 3 世代、および次世代移動通信システムにおいて、セルまたはセクタ境界に位置するユーザに対して、高品質、高効率受信を実現するためのマクロダイバーシチ技術についての研究成果をまとめた。

本論文の第 2 章で対象とした第 3 世代移動通信システムは、2001 年 5 月にサービスが開始され、現在、全契約者の 8 割以上が第 3 世代移動通信システムを利用しており、現在の移動通信システムの中心となっている。さらに本論文の第 3 章で対象とした HSDPA も 2006 年にサービスが開始され、これまでに比較してより高速のデータ通信サービスが可能となっている。また、本論文の第 4 章で対象とした Evolved UTRA and UTRAN は 3GPP における仕様の検討が終了に向かっており、2010 年ごろのサービス開始を目標として研究開発が行われており、更なる高速なデータ通信が可能になると考えられる。また、同じく第 4 章で対象とした第 4 世代移動通信システムについても、2007 年 11 月に使用周波数が国際電気通信連合(ITU)の WRC 会合で決定され、今後の研究開発がより活発になるものと考えられる。これらの次世代移動通信システムを実現するためには、本論文で検討を行ったマクロダイバーシチは必

須の技術であり，本論文における検討結果は，システム設計を行う際の指針を与えるものになると期待される．

論文審査結果の要旨

マクロダイバーシチは、移動通信システムにおいて移動中のユーザが通信を継続するために必須の無線技術である。本論文は、直接拡散符号分割マルチアクセス (DS-CDMA) を用いる第 3 世代システムおよび直交周波数分割多重 (OFDM) を用いる次世代システムにおけるマクロダイバーシチ技術に関する一連の研究成果をまとめたものであり、全編 5 章からなる。

第 1 章は緒論である。

第 2 章では、DS-CDMAを用いる第3世代システムを対象に、誤り検出結果と受信信号対干渉電力比を用いる2段階選択合成マクロダイバーシチを提案し、セル端ユーザの受信品質を従来法より改善できることを屋外伝搬環境において実証している。また、異なるセクタで受信される信号を全て合成するRake合成と一体化したマクロダイバーシチを提案し、セクタ内に閉じたRake合成に比べて受信品質を約2 dB改善できることを屋外伝搬実験により実証している。提案マクロダイバーシチ技術は第3世代システムの上りリンクに適用されている。さらに、制御ビットの復号誤りの低減とマクロダイバーシチ効果をさらに向上できる各基地局独立送信電力制御法を提案し、従来の全基地局共通送信電力制御法に比べて、低速から高速にわたる移動環境において所要送信電力を低減できることを明らかにしている。

第 3 章では、スケジューリングおよび再送制御を行う第3世代システムの高速パケット伝送を対象に、所属無線セルまたはセクタを無線フレーム周期で更新するユーザ主導型の高速セル/セクタ選択法を提案している。この選択法は、更新周期を2 ms程度に短縮することで、簡略な制御でありながらセル端ユーザのスループットを約40～60%改善できることを計算機シミュレーションにより明らかにしている。これは、高速パケット伝送実現のための設計指針を与える実用上重要な成果である。

第 4 章では、OFDM を用いる次世代システムを対象とした高速セクタ送信電力割当法とセル選択法を提案している。前者については、セクタ境界のユーザに対して、総送信電力一定という条件の下で、受信品質の高いセクタに 2 倍の送信電力を割り当て、他方のセクタからの送信をストップさせる。これにより、セクタ境界以外のユーザのスループットを複数セクタ等電力割当法とほぼ同等に保ちつつ、セクタ境界のユーザのスループットを約 10%向上できることを計算機シミュレーションにより明らかにしている。また、後者については、極めて強い周波数選択性の伝搬環境下では、シャドウイング変動のみに追従してセル選択を行えば充分であり、高速セル選択法とほぼ同等のスループットを実現しつつ、制御を簡略化できることを明らかにしている。これらは、次世代システムの設計指針を与える実用上重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、第 3 世代および次世代移動通信システムにおけるマクロダイバーシチ法を提案し、その有効性および実用性を明らかにしたものであり、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。